利用生物濾床法去除農、工業臭味之研發與應用

高銘木[1] 劉保文[2] 唐俊成[2]

[1] 國立成功大學環境工程系暨研究所教授，[2] 碩士班研究生

摘 要

畜牧、水產加工及化學工業所逸散之惡臭氣味不但降低生活環境品質，而且可能危害人體健康，不合乎環保空氣污染之管制標準，常導致公害糾紛之事件。空氣中常見之臭味主要爲含硫、氮化合物、芳香或脂肪族醇、醛、酸等揮發性有機化合物及有毒氣體如酸、鹼、含氯、苯、烯類碳氫化合物等。有關惡臭氣味控制技術一般可分爲物理脫臭法(水洗、活性碳吸附、冷凝、大氣稀釋)、化學脫臭法(藥劑吸收、化學吸附、燃燒、觸媒氧化及中和劑等)及生物脫臭法(土壤吸附、活性污泥法、酵素水解法)。本文主要探討以鋸木屑、泥炭土、堆廄肥等爲濾材添加或不添加農工廢水活性污泥所組合而成之生物濾床系統(biofilter system)處理畜殖場中堆肥醱酵場、糞尿處理池及石化工業區內綜合污水處理場所排放之臭味，並比較各種組合之生物濾床 對臭味之去除效率及瞭解臭味物質在生物濾床中之傳輸、吸附、轉化過程及其除臭機制。此外，亦闡明生物濾床之含水量、pH、粒徑大小、孔隙度及臭味物質濃度等對脫臭效率之影響，估算單位容積或重量生物濾床之最大負荷量及反應動力模式，做爲未來實場試驗之參考。

關鍵字：生物濾床，臭味，除臭率，除臭機制。

前 言

近年來因惡臭(odor)而引起之空氣污染及公害糾紛事件屢見不鮮，由於惡臭氣味係屬於人類嗅覺感受不愉快之主觀判斷，加上許多臭味問題並非單一臭味物質所致，常源自多種以上之臭味物質所引起之綜合惡臭，因此，雖借助許多精密儀器如GC，HPLC，IR及MS等能夠精確檢測出極微量之臭味物質濃度與種類，但由於人類鼻子之嗅覺遠較儀器靈敏與綜合臭味物質有其加成性(additive effect)及加乘性(synergistic effect)，儀器檢測臭味物質已無法完全公正評斷臭味問題，因此，目前國內外對臭味問題之評斷標準係採用「儀器分析法」與「綜合惡臭官能測定法(三點式嗅袋法)」做爲管制空氣中臭味物質之排放標準(表一、表二)。

惡臭氣味之發生源可能來自各種產業，其中以畜牧業、水產加工業、紙漿製造業、皮革、染整業及石化工業等爲主，本人近年來從事有關畜牧業及石化工業惡臭氣味問題之研究發現畜牧業及石化工業之主要臭味物質及其發生源(如表三、表四)指出畜牧業及水產加工業之臭味物質大多以硫化氫、甲硫醇、二甲基硫、二甲基二硫、氨、三甲基胺等爲主，此外還有一些低級脂肪醇、醛、酮、酸類。臭味發生源則以廢棄物處理場、糞尿處理場污水處理場、畜舍及屠宰場爲主。石油化學工業之主要臭味物質則除包括上述含硫、含氮化物外，還可能逸散一些有毒之苯、甲苯、二甲苯、乙烯、氯乙烯、丁二烯、丙烯晴等碳氫化合物。臭味發生源主要來自綜合污水處理場之調勻池及曝氣池或工廠之排放管道。

本人過去一、兩年來以惡臭官能測定法與儀器分析法連續檢測大社石化工業區內之揮發性有機化合物與臭味物質濃度、特徵及種類。藉此瞭解工業區惡臭氣味之主要發生源及其分佈狀況。結果發現工業區內大氣臭味以綜合污水處理場之曝氣池與調勻池爲主要臭味發生源，其臭味濃度數值目55至1303不等(表五)。紅外線吸光光譜及氣相層析儀所測得之臭味物質種類與濃度亦以曝氣池及調勻池最多且較高，其中以甲醇(9.36-37.27ppm) 、醋酸(0.41～3.30ppm)、丙烯睛(0.70～383.67ppm)、甲基胺(6.30～12.93ppm)、二甲苯(13.95～24.36ppm) 等爲主要臭味物質、氨、丙酮、苯、丁二烯及氯乙烯次之(表六a、表六b)。進一步以臭味影響濃度公式分析指出以甲硫醇、甲基胺、醋酸及丙烯晴爲主要臭味物質(表七)。換言之，若欲改善工業區內之 惡臭氣味，必須首先設法去除工業區內(尤其是綜合污水處理場) 所逸散之含硫、含氮、有機酸及烯晴類揮發性有機化合物，方能解決臭味問題[4]。

本研究擬採用泥炭土生物濾床(peat biofilter technique)做爲去除石化工廠臭味之主要原因：1. 主要惡臭物質大多爲生物能夠利用之碳、氮、硫化物如醋酸、甲基胺、氨、甲硫醇等化合物(丙烯晴或二甲苯屬較難生物分解之化合物)；2. 臭味物質濃度屬於中低濃度，適宜生物處理；3. 泥炭土具有極爲優良之理化生物特性，如50％有機質，25％腐植酸，pH4.0， 極高之陽離子交換能力(CEC)，比表面積、孔隙率及高活性之微生物族群等，對惡臭物質具有吸附及轉化作用而除臭。有關利用泥炭土生物濾床去除畜牧業，水產加工業及食品醱酵業之脫臭成果國內外均有報導。最早利用生物濾床法進行脫臭處理始於1953年，美國加州長堤下水道臭味即藉土壤層過濾法而除臭。嗣後，1964年歐州瑞 士首先應用生物濾床處理畜牧堆肥場之惡臭氣味。1970年至80年代歐美及日本各國相繼利用生物濾床法去除禽畜堆肥，動物屍骨處理場，污水場及垃圾處理場所產生之硫化氫、硫醇類、氨及甲基胺等臭味物質，均達到相當程度之效果。生物濾床去除臭味之理論機制探討方面，sublette 等人[14]分別發表一系列有關利用泥炭土生物濾床去除硫化氫、甲硫醇、二甲基硫及二硫化二甲基等硫化物之生物脫臭反應，基本上係藉著好氧情況下將上述含硫臭味物質送入生物濾床系統中吸附於泥炭土表面，然後在適當含水量及pH條件下由好氣性之化學自營細菌如*Thiobacillus* spp[10,12]. 或化學異營細菌如*Actinomyces*、*Streptomyces*、*Corynebacterium*、*Xanthomonas*、*Hyphomicrobium*及*Pseudomonas* spp[9,13]將上述硫化物氧化爲硫代硫酸鈉，再轉變爲硫酸鹽類而除臭。Togshi等氏[15]曾探討利用泥炭土生物濾床去除氨氣，結果顯示不同種類之泥炭土對氨之吸附能力各異，大約10～20克氮/ 公斤乾泥炭土，當濾床接種硝化菌時，吸附在濾床內之氨才有硝化作用，其對氨之最大轉化率發生在硝化作用產生後48小時左右。Dragt 與Ottengraf[11] 曾以小型及模場堆肥濾床處理10ppm 氨之臭氣，在通氣量爲$500m^3/m^2.hr$ 之操作條件下，小型濾床可將進流氣中濃度爲50ppm 之氨去除90％，而模場濾床亦可將進流氣中濃度爲10ppm 之氨去除90％。顯示對氨之最大去除能力分別爲2 及9g氮/m^3.hr。惟若濾床孔隙水份中亞硝酸及硝酸根含量超過0.45～0.5 mole/l時，微生物對氨之硝化作用則受抑制，氨去除率降至60％以下。此外Verhagen等氏[16]亦曾發現土壤生物濾床中之化學自營硝化細菌與化學異營細菌*Arthobacter globiformis* 對氨氮具有競爭作用，換言之，在有機態氮(如甲基胺)含量較高存在下，化學異營細菌在好氣情況下氧化甲基胺爲氨態氮，然後化學自營細菌如*Nitrosomonas* 及*Nitrobacter*等硝化細菌則與上述化學異營細菌分別氧化氨態氮爲硝酸態氮而除臭。國內方面，周明顯與許文仁[2]曾以生物濾床處理含甲基胺臭氣之操作性能研

究，發現甲基胺在生物濾床中微生物轉化爲氨氮後，再氧化爲亞硝酸及硝酸。在生物濾床pH爲中性。含水率55%時，微生物對氨氮之每天最大硝化速率爲0.113 克氮/公斤乾濾料。周明顯、黃俊傑、鄭文熙等氏[3]曾以模場生物濾床處理排氣中硫化物操作性能研究發現以一套二段式生物濾床(充填牛糞堆肥混合碳酸鈣)處理進流濃度爲19.3ppm 之硫化氫氣体，在硫化氫平均負荷2.2g.H_2S/m^3.hr 下，可使出流之硫化氫濃度降至1.8ppm，去除率達90.7%。此外，鍾美華、張鴻鈞、黃思蓴等氏[7]亦曾以雞糞培養土生物濾床應用於水產下腳料業去除揮發性臭味之研究，其除臭率可達95%以上，去除能力爲25g vocs/m^3.hr。

利用生物濾床去除工業臭氣之研究鮮少報導，主要原因可能與工業廢氣中常含有較難生物分解或具有生物毒性之揮發性化合物如苯、甲苯、二甲苯、烯類。氯烯類或有機醇、酮、酸類等，這些化合物一般不易被生物轉化分解，若在高濃度時可能會抑制微生物活性，降低處理效率[5]。惟根據國外研究文獻顯示自然界中(土壤或活性污泥)存在某些微生物對上述化合物具有生物分解作用。例如*Pseudomonas aeruginosa* 與*Chromobacterium* sp.能夠分解甲苯、二甲苯[8]及acetonitrle；*Xanthomonas campestris* 能夠分解三氯乙烯[17]，*Arthobacter* sp. 分解苯，甲苯及二甲苯等。因此，利用泥炭土生物濾床處理石化工業臭氣仍有其適用之可行性。因爲泥炭土中含有多樣化之微生物族群，若經適當環境之馴養或接種特殊菌源(添加活性污泥)，當可發揮去除工業廢氣惡臭之功能。

本研究計畫目的擬利用泥炭土生物濾床法處理大社石化工業區內逸散至大氣中之惡臭物質(尤其針對綜合污水處理場之調勻池與曝氣池)，探討各種臭味物質，含硫、含氮、有機酸類、丙烯睛類在生物濾床中之吸附，轉化等傳輸現象，並闡釋其除臭機制。同時瞭解其他工業廢氣如苯、甲苯、二甲苯及氯烯類在生物濾床中之命運及其對除臭效率之影響。此外，擬改變生物濾床之含水量、pH、粒徑大小、密實性(孔隙度)、反應溫度、及各種臭味物質進流濃度及流量，探討其對除臭率之影響，並估算其單位容積或重量生物濾床對各種臭味物質之最大負荷量，並求出反應動力模式以供未來現場實際應用之參考。最後擴大本研究成果擬在工業區現場(以污水處理場爲例)裝置一套泥炭土生物濾床系統實際操作處理臭味，評估其除臭效率及經濟可行性。徹底解決石化工業之臭味問題。

惡臭氣味之控制技術

有關惡臭氣味控制技術一般可分爲三大類，包括物理脫臭法(水洗、活性碳吸附、冷凝或大氣稀釋)、化學脫臭法 (藥劑吸收、化學吸附、燃燒、觸媒氧化及中和劑等)及生物脫臭法(土壤吸附、活性污泥法、酵素水解法)。其中物理脫臭法大多僅將臭味物質以某種擔體直接吸附或以水或空氣爲介質將臭味物質稀釋而減除臭味，就臭味物質而言並無進一步轉化而脫臭，因此若臭味物質再自固体吸附劑上脫附時，則惡臭再現，同時以水或大氣稀釋惡臭亦需大量稀釋，不合乎經濟且又有兩次污染 (惡臭物質溶於水中) 之慮；化學脫臭法雖具有顯著脫臭效率，尤其是以焚燒或觸媒氧化法處理高濃度惡臭物質，但需耗費較高能源及處理成本，若用來處理中低濃度之臭味物質則不甚合乎經濟效益。其他如化學藥劑吸收或吸附法則常有廢液需再處理之麻煩。至於生物脫臭法則係將惡臭物質先以固相(土壤或其他固體介質)吸附，再藉生物轉化

作用將惡臭物質氧化或還元爲無臭物質而徹底除臭。本法具有處理成本低廉，可再生利用，無二次污染之慮，基本上適宜處理中低濃度惡臭物質。

生物脫臭技術之原理、設計與操作

一、 生物脫臭技術之原理及型態

生物脫臭技術之基本原理係將氣態之惡臭物質先以固相 (土壤、堆肥、木屑或其他固體介質) 吸附或溶於液相(通常是水)中，再藉固相或液相中之微生物對惡臭物質進行氧化或還元作用轉化爲無臭物質而徹底除臭。生物脫臭技術一般可分爲三種型態:1.生物洗滌法(活性污泥脫臭法)，2.生物滴濾塔法，3.生物濾床法。生物洗滌法主要利用廢水處理系統中之曝氣反應，使廢水中活性污泥之微生物將廢水中臭味氧化而除臭(圖一);生物滴濾塔法(生物膜法)係利用以樹皮、木屑、卵石或活性碳等爲載體，然後將含臭氣之廢水流經上述載體，藉著廢水中生物膜著生於載體表層之生物氧化作用而除臭(圖二);生物濾床法則先以木屑、堆肥或土壤(濾料)配製成一定厚度之塡充層做爲生物濾床，將含有臭氣之氣體以適當速度通過濾床，然後藉著濾床中之固相吸附與生物轉化作用而除臭(圖三)。上述三種生物脫臭法中以生物濾床法最爲簡便 ，再生性及其處理費用低廉，頗值得推廣與應用。[1,6]

二、 生物濾床之設計及重要操作參數

(一) 濾材種類：

生物濾床法中最主要之一環爲濾材之選擇，因爲本法之成敗端賴濾床中之生物活性。同時臭味成份係被吸附於濾材之表層或其含水膜層。因此，濾材之粒徑大小(particle size)及其比表面積(specific surface area)大小變成非常重要之設計條件之一。一般木屑、堆肥或泥炭土經粉碎過篩後獲得直徑0.2～2mm不同粒徑大小之顆粒濾材，其比表面積約在1~20m^2/g，遠不如黏土礦物(100~200m^2/g)或活性碳(500~ 1200m^2/g)，但濾材之粒徑若太小， 雖有助於比表面積之增加，但相對地降低濾材顆粒間之孔隙率，阻礙氣體通過速率。同時黏土礦物或活性碳又無法提供微生物所需之足夠養分。因此優良之濾材應具備下列條件：1.富含微生物及養分，2.適當之粒徑大小(比表面積)，3.良好保水能力及吸附能力，4.適當之孔隙率(通氣性)，5.本身無臭，6. 價格便宜及取得容易等。因此，很少有一種單一濾材能滿足全部要求。通常需兩種以上之濾材摻配使用。根據國內外研究結果一致認爲以鋸木屑，各種型態堆肥(垃圾、豬糞、樹皮)或泥炭土再加上惰性塡充物質(inert material)可組合一套十分理想之濾床。

(二) 濾床之理化生物性質：

濾床之理化性質(以濾床含水量及pH最重要)影響臭味在濾床中之吸附及轉化作用甚鉅。例如濾床之水份若低於最大飽和含水率之10%以下則濾床可能僅具吸

附作用，在此低含水量下濾床中之微生物活性很低，生物轉化作用幾乎無法運作，而潮濕之濾床(最大飽和含水率之50-60%)則兼具吸附及轉化功能，此時之濾床含水量其吸附臭味及生物除臭反應最佳，若濾床水份含量過高(80%以上)趨向於飽和狀態，則因濾床孔隙率降低，不但阻礙氣體流通且造成厭氣狀態，有礙生物轉化作用之進行。濾床之酸鹼度不但影響臭味物質在濾床中之吸附能力與解離度，而且改變濾床中微生物相及其活性。例如當濾床之pH爲酸性時，對揮發氨之吸附能力遠比pH爲中、鹼性爲大，蓋因揮發氨在酸性濾床水膜層中形成氨態氮(NH_4^+-N)而被吸附;在中、鹼性濾床則形成分子態氨(NH_3)而無法被吸附。但是，在酸性濾床中化學自營或異營之硝化作用則受顯著抑制，無法將NH_4^+-N氧化爲NO_3^--N，必須等到發揮氨在酸性濾床中所吸附形成之NH_4^+-N逐漸中和呈中性濾床後才開始揮發硝化作用，若整個生物濾床系統之氨吸附作用(NH_4^+-N生成量)與生物硝化作用達到平衡狀態，則氨之脫臭效率得以達到最高。若系統中之NH_4^+-N生成量高於硝化作用，則生物濾床呈鹼性(pH 9.0以上)，硝化作用再度受到抑制，整個濾床對氨之脫臭效果下降;另一方面，若生物濾床之硝化作用大於NH_4^-+N生成量，此時濾床之pH逐漸下降而呈酸性，生物硝化作用再度停頓，此際即表示應當更換新濾材或再生。另就硫化物(硫化氫、甲硫醇、甲基硫化物等)而言，生物濾床之pH在酸性及中性條件下(pH4.0~7.0)均能顯現出有效之脫硫效果，因爲在上述pH範圍中，濾床內之化學自營菌(如*Thiobacills* sp)及一些化學異營(如*Actinomyces*、*Streptomyces*、*Thermoactinomyces*、*Coryebacterium*及*Micrococcus* sp.)均能有效氧化硫化物爲硫代硫酸鹽及硫酸鹽類而除臭，因此生物濾床之脫硫處理較不受pH所左右。濾床之生物特性包括微生物種類與數目將主導去除臭味物質之種類及濃度。例如一般以堆肥及泥炭土所組合之生物濾床對畜牧、水產加工及垃圾`處理業所產生之含硫、氮化合物及脂肪族有機酸、醛、酮類均有顯著除臭效果，但對塑膠及石化工業所逸散之苯類、烯類及含鹵素碳氫化合物則較差。因爲上述生物濾床中很少具有土生土長能夠分解這些頑強化合物之菌種，因此，在利用生物濾床系統去除工業廢氣時 ，應移植適量工業污水處理場中之活性污泥，以增強其生物分解能力而達到除臭效果。這種現象可由國外一些研究報告中獲得證實。

(三) 生物濾床之孔隙率與厚度:

如前所述，生物濾床濾材之粒徑大小及其含水量直接影響濾床之孔隙率，而濾床之孔隙率則直接影響氣體在濾床中之停留時間，氣體在濾床中停留時間之長短則繫乎去除率之高低。一般而言，若臭味物質在濾床中停留時間太短，其去除率不可能提升。因此，濾床之孔隙率及厚度亦屬生物濾床法中兩個重要設計參數，必須加以考慮留意。生物濾床之孔隙率 ε =Vp/Vm，其中Vp爲濾床中孔隙體積(立方米)，Vm爲濾料之總體積(立方米)，根據試驗結果顯示不同濾料之孔隙率各異,例如垃圾堆肥之 ε = 0.3-0.4，樹皮堆肥 ε =0.4-0.55，泥炭土 ε =0.7-0.85不等

，而孔隙率 ε 與氣體停留時間之關係爲 $t=H \cdot A \cdot \varepsilon \cdot 3600/\theta$ ，式中t爲停留時間(秒)，H爲濾床厚度(米)，A爲濾床截面積(平分米)，θ 爲氣體進流量(立方米/小時)。因此，若得知濾床厚度、截面積及氣體進流量，即可測知氣體停留時間。一般生物濾床體積設定大多以每單位濾床截面積之廢氣流量做爲計算基礎，一般均在每小時50~300立方米/平方米。例如廢氣流量爲每小時10^4立方米時，濾床截面積僅需200~30平方米即可，若停留時間一定，濾床體積不變，則濾床之尺寸(濾床厚度與截面積)即可求出。有關濾床之尺寸計算與廢氣進流濃度與組成無關。一般濾床厚度介於0.8-1.2米，亦有厚達6米。

(四)　生物濾床之效率(efficiency)與去除率(removal rate)：

生物濾床之兩個重要操作參數爲效率(efficiency，η)及去除率(removal rate，X)。前者係指進流氣體中污染物被濾床去除之濃度百分比。其計算公式爲 $\eta = (1-Co/Ci) \times 100\%$，式中Co爲廢氣出流濃度(毫克/立方米)，Ci爲廢氣進流濃度(毫克/立方米)。例如硫化氫之進流濃度爲100毫克/立方米，通過濾床後之出流濃度爲10毫克/立方米，則該生物濾床對硫化氫之效率爲90%。至於後者(去除率)則係指單位時間內，單位體積或重量濾料對廢氣污染物之去除量，它與效率 η 關係式爲：$X=\eta \cdot Ko$，式中Ko爲單位時間內定量體積或重量濾料對污染物之負荷量(克/立方米・天，或克/公斤・天)。因此去除率或效率不僅與氣體停留時間有關，亦與濾料對污染物之負荷量有關。隨著負荷量之增高，即使停留時間增長，濾床之去除效率亦顯著降低。因此，假設生物濾床爲一近似理想之管狀反應器，則生物濾床之效率可用下列數學式表示：$\eta=1-e^{-kt}$，式中t爲停留時間(秒)，k爲反應速率常數(1/秒)，式中k值可用來做爲比較不同濾料對污染物去除率之指標參數，亦可用來計算不同廢氣組成之生物分解速率。一般而言，k值愈大，去除效率愈高。表八及圖四即表示正丁醇、二甲苯、三氯甲烷、硫化氫及氨等不同污染物之生物濾床分解動力學常數。

(五)　生物濾床之設計模式

生物濾床之設計一般分爲開放式濾床系統與密閉式濾床系統兩種模式(圖五)，前者以土壤濾床爲主，其優點爲裝置及操作費用低，技術簡易，但亦有更換濾料花費較多，需要大面積土地，效率易受不定情形(氣候因子)所影響，若不裝設底盤，可能會造成地下水污染之處。密閉式濾床系統則以密閉之填充塔或貨櫃式系統爲主，比起開放式土壤濾床系統，它具備許多優點：如濾料容易更換，濾料之理化、生物特性易於控制，不受氣候因子所左右，不會產生地下水污染，本系統可以串聯操作及裝置費用低廉。唯必須特別注意之處爲濾床內部表面之填充塔或貨櫃材質要用耐酸、鹼、腐蝕之塑膠或金屬製品，並裝設有孔且軟質之圓管，用來加水噴灑濾床表面，維持濾床之適當含水量。

結　論

生物濾床去除農、工業廢氣(臭味及毒性物質)雖然是一門較新之生物處理技術，經由實驗及模場試驗發現發現其功能不下於其他各種處理方法。若選用適當之濾床，生物濾床不但可處理含硫、含氮之臭味物質，而且對疏水性之毒性物質如苯、烯、含氯碳氫化合物亦有良好之去除效果。若能進一步改良生物濾床之各項設計及操作參數，更能提高其處理效率及減低處理成本，未來生物濾床在環境工程上之應用領域必更爲寬廣。

參考文獻

1. 江晃榮、春田一吉 1991 微生物脫臭裝置之開發與應用。中華民國環境工程學會第16屆廢水處理技研討會 451～462頁。
2. 周明顯、許文仁 1993 以生物濾床法處理含甲胺臭氣之操作性能研究。第十屆空氣污染控制技術研討會論文集 69-77頁。
3. 周明顯、黃俊傑等 1993 以模場生物濾床處理排氣中硫化物之操作性能研究。第十屆空氣污染控制技術研討會論文集 99-102頁。
4. 高銘木 1993 石化工廠附近大氣臭味問題特徵之研究。國科會專題研究報告 34頁。
5. 張淑芬、黃思專、鄭鴻鈙 1993 生物脫臭技術適用性評估方法。第十屆空氣污染控制技術研討會論文集 501-508頁。
6. 劉春木 1991 微生物脫臭技術的現況與展望。工業污染防治 第37期81～95頁。
7. 鍾美華、張鴻鈞、黃思專 1993 生物濾床脫臭技術在水產下腳料業之應用。第十屆空氣污染控制技術研討會論文集 79-86頁。
8. Alvarez, P. J. J., and T. M. Vogel. 1991. Substrate interactions of benzen, toluene. and para-xylene during microbial degradation by pure cultures and mixed culture aquifer slurries. Appli. and Envivon. Microbiology. 57：2981-2985.
9. Cho, K. S., M.Hirai and M. Shoda. 1992. Degradation of hydroger sulfide by *Xanthomonas* sp. strain DY44. Isolated from peat. Appl and Environ. Microbiology. 58：1183-89.
10. Cho, K. S.,L. Zhang, M.Hirai, and M. Shoda. 1991. Removal characteristics of hydrogen sulfide and methanethiol by *Thiobacillus* sp. Isolated from peat in biological deodorization. J. of Fermentation and Bioengineering. 71：44-49.
11. Dragt, A.J.,A.Jol., and S.P.P. Ottengraf. 1987. Biological elimination of ammonia in exhaust air from livestock production. Proc. 4th Eurpean Congress on Biotechology. vol 2, PP.600-603.
12. Furusawa, N., I. Togashi et al. 1984. Removal of hydrogen sulfide by a biofilter with fibrous peat J. Ferment. Technol. 62:589-594.
13. Hirai,M.,M.Ohtake, and M. Shoda. 1990. Removal kinetics of hydrogen sulfide ,methanethiol and dimethyl sulfide by peat biofilters. J.Ferment. Technol 70:334-339.

14. Sublette,K.L 1987. Aerobic oxidation of hydrogen sulfide by Thiobacillus denitrificans. Biotechnology and Bioengineering. XXIX: 690- 695.

15. Togashi, I.,M. Suzuki,et.al. 1986. Removal of NH3 by a peat biofilter without and with nitrifier. J. Ferment. Technol.,64:425-432.

16. Verhagen, F. J. M., H. Duyts, and H. J. Leanbroek (1992). Competition for ammonium between nitrifying and heterotrophic bacteria in continously percolated soil columns. Appli. and Environ. Microbiology. 58：3303-3311.

17. Wolfram, J.H.M.S.Nawaz and K.D. Chapatwala. 1989. Isolation and identification of microorganisms capable of degrading common laboratovy solvents. PP403-418. in Biotechnology Applications in hazardous waste treatment". by Lawandowsk G. et al. United Engineering Trustees. Inc. New York, NY.

18. Zhang, L., M.Hirai, and M. Shoda. 1992. Removal characteristics of dimethyl sulfide by a mixture of *Hyphomicrobium* sp. I55 and *Pseudomonas acidovorans* DMR-11. J. of Fermentation and Bioengineering 74：174-78.

表一 臺灣省固定污染源空氣污染物排放標準

空氣污染物	排放標準						換算常數		施行日期		測定方法
	排放管道			周界			A1	A2	新污染源	新存污染源	
	高度(公尺)	臭氣濃度 (1)	(2)	區域別	臭氣濃度 (1)	(2)					
臭氣或厭惡性異味	0-9	1500	1000	工業區	70	50	—	—	1.標準(1) 自公告日起施行。2.標準(2)自79年7月1日 起施行。	1.標準(1) 自公告日起施行。2.標準(2)自82年7月1日起施行。	官能測定法
	9-18	4500	3000	工業區以外地區	20	10					
	18-30	13500	9000								
	30-55	45000	3000								
	5以上	75000	55000								

表二. 在廠地周界線上的管制基準
單位：ppm

惡臭物質	環境廳	東京都		我國
		工業專用地域 工業地域 準工業地域	其他地域	排放周界管道 ppm
氨　氣	1-5	2	1	1
甲硫醇	0.002-0.01	0.004	0.002	0.01
硫化氫	0.02-0.2	0.06	0.02	0.1
二甲硫	0.01-0.2	0.05	0.01	0.1
三甲基胺	0.005-0.07	0.02	0.005	0.02
二硫化二甲基	0.009-0.1	未管制		甲醛 0.2
乙　醛	0.05-0.5			
苯乙烯	0.04-2			

表三 各種污染源之惡臭物質

污染源	物質	法定惡臭8物質														
		硫化氫	甲硫醇	二甲硫	二甲基二硫	氨	三甲胺	乙醛	苯乙烯	碳化氫類	酮、醛類	醇類	酯類	氯化物	硫化物	低級脂肪酸類
畜業牧產	養豬業	●	●	■	■	■										●
	養牛業	●	●	■	■	■										●
	養雞業	●	●	■	■	●	●							■		■
飼製料造、工肥廠料	複合肥料製造工廠	■	■	▲	▲	●	▲									
	魚腸骨處理場	●	●	■	▲	▲	●				■	▲		■		▲
	獸骨處理場	●	●	■	■	■	●				■	▲	■			▲
	雞養乾燥工場	●	●	■	■	●		■								▲
	皮革處理場	●	●	■	■	■	■	■			●	▲		■		
食品製造工廠	咖啡製造工場	▲	●	▲	▲			▲			▲				●	
	畜產食品製造工廠	■	▲			▲					▲	▲				▲
	水產食品製造工場	●	▲			■	●							■		
	調味料製造工場	▲	▲								▲	▲	▲		●	
	物工場	■														
	麵包、點心製造工廠										▲	▲				
	製茶工場										■	■	■	■	■	
	澱粉製造工場	●	▲											■		●
化學工廠	石油製造工場	■	●	■	■	■				●					■	
	焦炭製造工場	■				■		■		■	■					
	紙漿製造工場	●	●	●	●					●					■	
	玻璃紙製造工場	●														
	化學肥料製造工場					●										
	無機化學工業製品製造工場	▲				▲									▲	

表四. 各種污染源之惡臭物質(續)

污染源 \ 物質		法定惡臭8物質：硫化氫	甲硫醇	二甲硫	二甲基二硫	氨	三甲胺	乙醛	苯乙烯	碳化氫類	酮、醛類	醇類	酯類	氫化物	硫化物	低級脂肪酸類
其他	廢棄物處理場	●	■	■	▲	■		■	▲	■	■	■	■	■	▲	▲
	污水處理場	●	●	■	▲	■				■	■			■		
	糞尿處理場	●	●	●	■	●							■	■		■
	火葬場	■	▲	▲	▲	■	●	■	■	▲	▲	▲	■	■		
	畜牧場	●	●	■	▲	■	■				▲		■	■		■
	屠宰場	●	●	■	▲	■	■	■			■	▲	■	■		■
	醫院、診療所.檢查中心	■	▲			■						▲				
	洗衣店、洗滌工場															
	飲食店	▲				▲		■								
	照相管、顯像所					▲										
	加油站									●						
	丙烷瓦斯灌裝處									■					●	
	旅管、大飯店	▲				▲										
	美容院、理法店					●				▲						
	廢品回收業	■	▲			■				■		▲				▲
	汽車修理工場									●	●		●			
移動發生源	汽車、卡車							●		●	●			■		
	航空機							●		●	●			■		
建設作業現場										▲	■					
下水、用水		●	▲	▲	▲	▲										
垃圾堆積場		■	■	▲	▲	■	■	■		■	■	■	■			▲
個人住宅		■	■	▲	▲	■		■								

■‥‥‥‥‥可測定檢出的物質
▲‥‥‥‥‥可能檢出的物質
●‥‥‥‥‥造成惡臭的物質

表五、大社石化工業區大氣臭味分析(惡臭官能測定法)

	臭味濃度(Y)						
採樣點	81/11/15	12/15	82/1/29	3/27	4/30	5/14	6/25
曝氣池	70	55	76	138	1303	185	341
中纖	10	10	10	17	12	10	7
圓環	22	10	30	17	50	20	7
台橡	25	23	26	35	68	40	55
中興橋	22	10	30	7	17	25	20
中化	15	12	23	10	28	18	22
優品	20	13	20	7	23	17	6
中鼎	10	10	10	30	25	19	55

(註)：

第一次採樣：81年11月15日上午10時至12時，天氣晴，相對濕度85%，25℃，西北風，風速15～2.0米／秒·

第二次採樣：81年12月15日上午10時至11時30分，天氣晴，相對濕度80%，20℃，西北風至北風，風速3.0～3.5米／秒·

第三次採樣：82年1月29日上午10時至11時30分，天氣晴，相對濕度70%，15℃，北風，風速2.0～3.0米／秒·

第四次採樣：82年3月27日上午10時至下午4 時30分，天氣晴，相對濕度77%，23℃，西北風至北風，風速1.5～2.5米／秒·

第五次採樣：82年4月30日上午10時至下午5 時，天氣陰，相對濕度82%，30℃，西南風，風速2.0～3.0米／秒·

第六次採樣：82年5月14日上午11時至下午4 時30分，天氣晴，相對濕度79%，32℃，西南風至南風，風速1.0～3.0米／秒·

第七次採樣：82年6月25日上午10時至下午3 時30分，天氣晴，相對濕度80%，33℃，西南風至南風，風速1.0～3.0米／秒·

表六a. 大社石化工業區大氣臭味分析(儀器測定法)

臭味物質	臭味物質濃度(ppm)							
	82/3/27				82/6/25			
	曝氣池	圓環	中興橋	中鼎	曝氣池	圓環	中興橋	中鼎
丙酮	7.35	ND	ND	ND	3.42	ND	ND	ND
醋酸	0.77	2.35	ND	ND	0.41	3.18	3.30	3.08
氨	1.77	ND	ND	ND	0.48	ND	ND	ND
苯	8.83	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
丁二烯	4.82	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
丙烯晴	10.70	ND	ND	ND	383.67	0.68	ND	0.95
甲醇	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
甲基胺	6.30	ND	ND	ND	12.93	ND	ND	ND
甲硫醇	9.36	ND	5.73	ND	37.27	ND	ND	ND
甲苯	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
氯乙烯	3.08	ND	ND	ND	7.12	ND	ND	ND
二甲苯	24.36	ND	ND	ND	13.95	ND	ND	ND
丙醇	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
二硫化碳	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
乙烯	ND	ND	ND	ND	4.92	ND	ND	ND

(註)：ND表示臭味物質測值低於儀器最低監測限值。

表六b. 大社石化工業區廢水處理場大氣臭味分析(紅外線光譜儀測定)

臭味物質	臭味物質濃度(ppm)			
	83/12/30		83/1/31	
	調勻池	曝氣池	調勻池	曝氣池
丙酮(3.7)	2.15	0.28	2.25	0.86
醋酸(0.3)	0.33	0.03	0.66	0.13
氨(0.7)	2.43	0.39	1.02	0.96
苯(2.2)	1.85	<0	2.66	5.98
丁二烯(3.9)	1.89	2.43	0.42	0.40
丙烯晴(0.6)	1.78	<0	2.10	2.47
甲醛(0.5)	0.73	<0	0.68	<0
甲基胺(1.9)	15.25	2.38	38.64	22.63
甲硫醇(1.5)	8.05	5.16	12.56	19.58
二甲基硫	1.82	<0	0.14	<0
二甲基二硫	<0	<0	<0	<0
甲苯(9.2)	3.58	1.67	0.32	<0
硫化氫	<0	<0	<0	<0
氯乙烯(0.8)	1.08	0.48	2.18	0.85
二甲苯(2.0)	0.55	0.15	0.63	0.18
丙醇(0.8)	1.23	0.41	1.44	1.14
二硫化碳(4.8)	5.89	4.56	5.43	7.45
乙烯(0.5)	1.52	<0	0.62	0.13

(註):臭味物質中( )內數值爲儀器最低有數檢測值，單位(ppm)

表七. 大社石化工業區之臭氣影響濃度(Ⅰ)

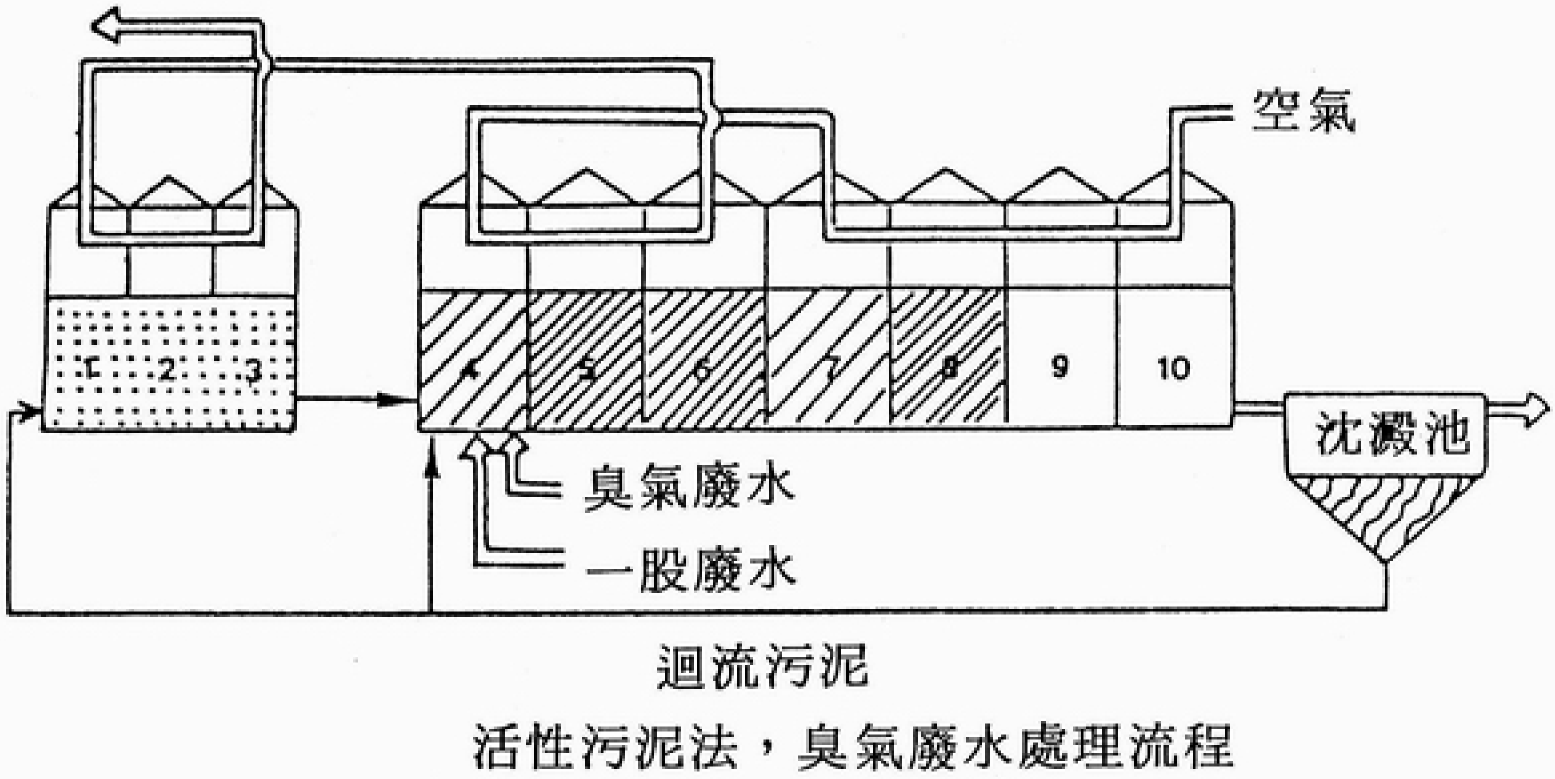
採　樣　點	臭氣影響濃度(Ⅰ) 82/3 /27	82/6 /25
曝氣池	17,386	69,265
圓環	31	43
中興橋	10,600	46
中鼎	0	41

(註)：臭味影響濃度(Ⅰ)計算公式如下：

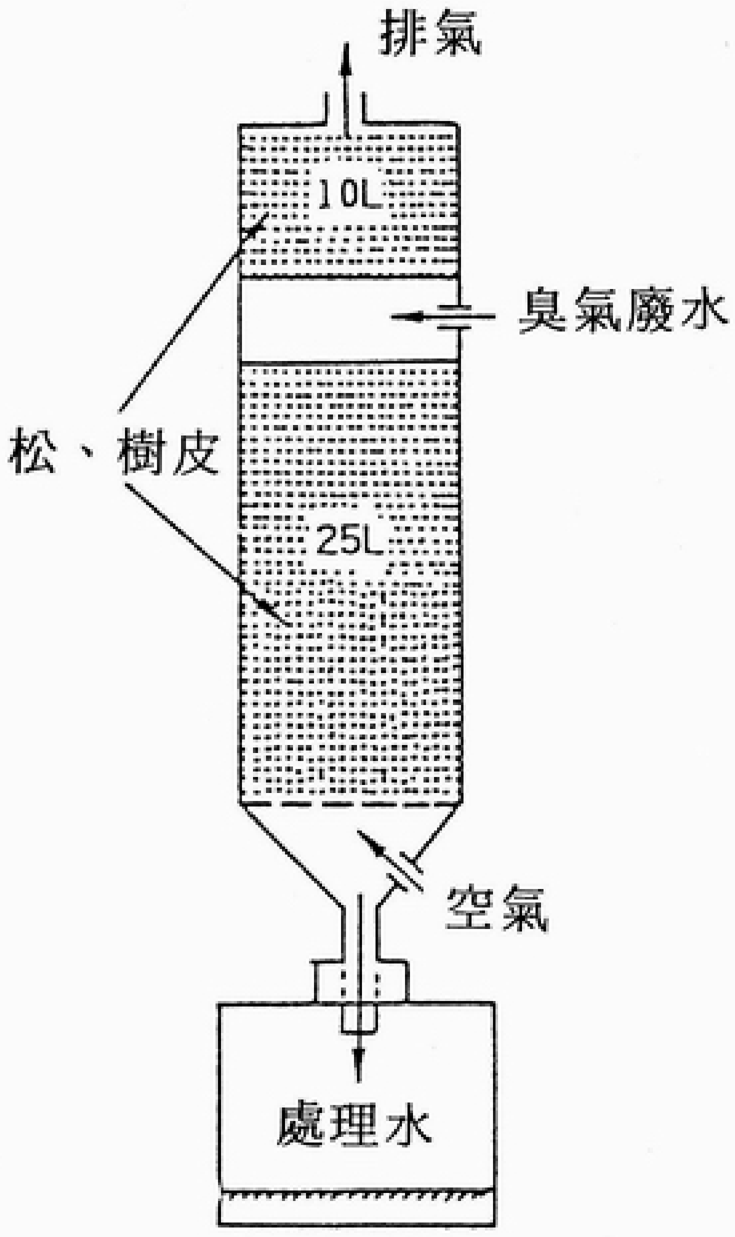
C=Ci/Cbi，Ci爲臭氣濃度，Cbi爲臭氣嗅覺界限濃度。

表八. 一些污染物之生物濾床分解動力常數

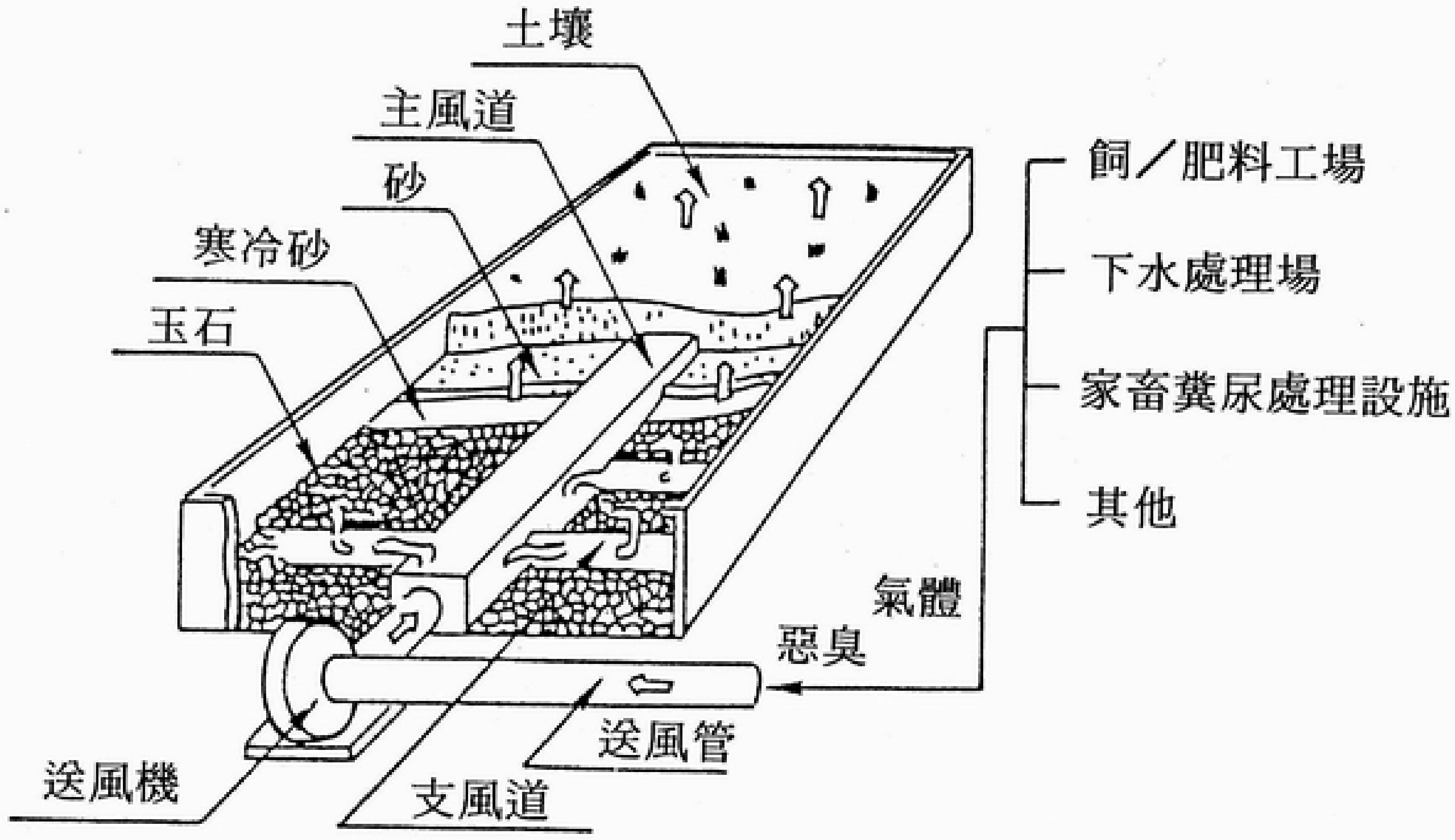
進氣成份	反應速率常數，K(1/s)		
	垃圾堆肥	細的樹皮堆肥	粗的樹皮堆肥
正丁醇	0.28	0.1~0.3	0.02~0.05
二甲苯	0.01	0.01~0.02	0.03~0.07
二甲基異丙胺	0.04	0.04	0.02
二氯甲烷		0.02~0.04	0.01~0.03
硫化氫		0.03~0.11	
氨		0.05~0.10	



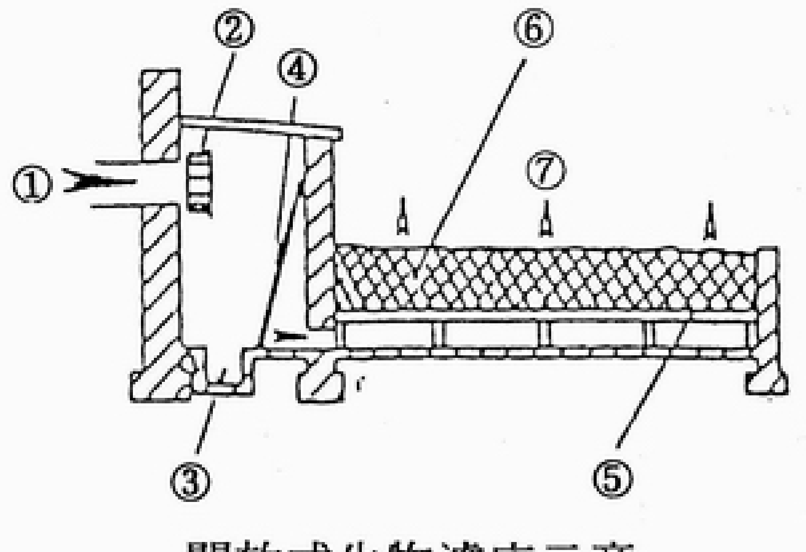
圖一. 生物洗滌法(活性污泥脫臭法)裝置



圖二. 生物滴濾塔法裝置



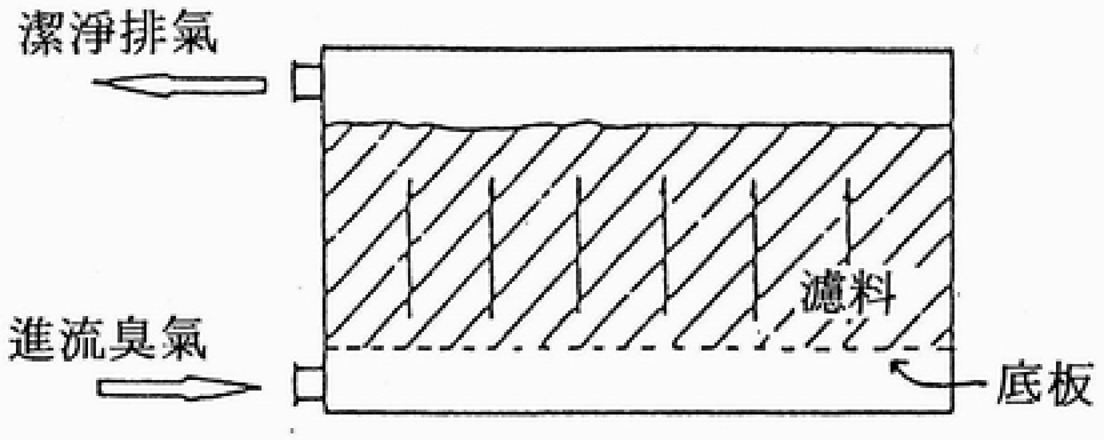
圖三. 生物濾床法裝置



開放式生物濾床示意

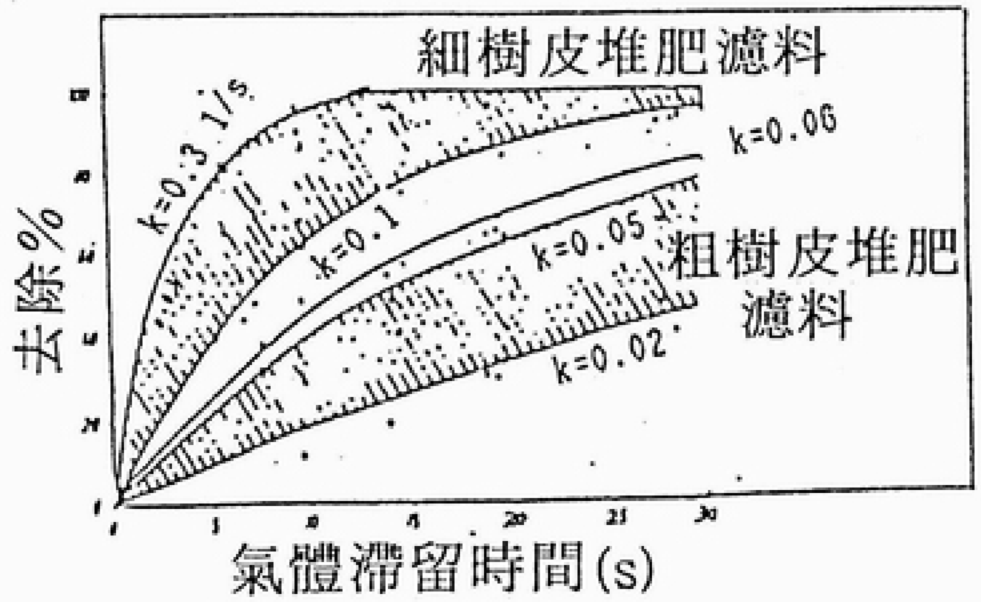
1. 進流臭氣 *2.* 抽風機 *3.* 集水溝

4. 濾塵片 *5.* 底板 *6.* 濾料 *7.* 潔淨排氣

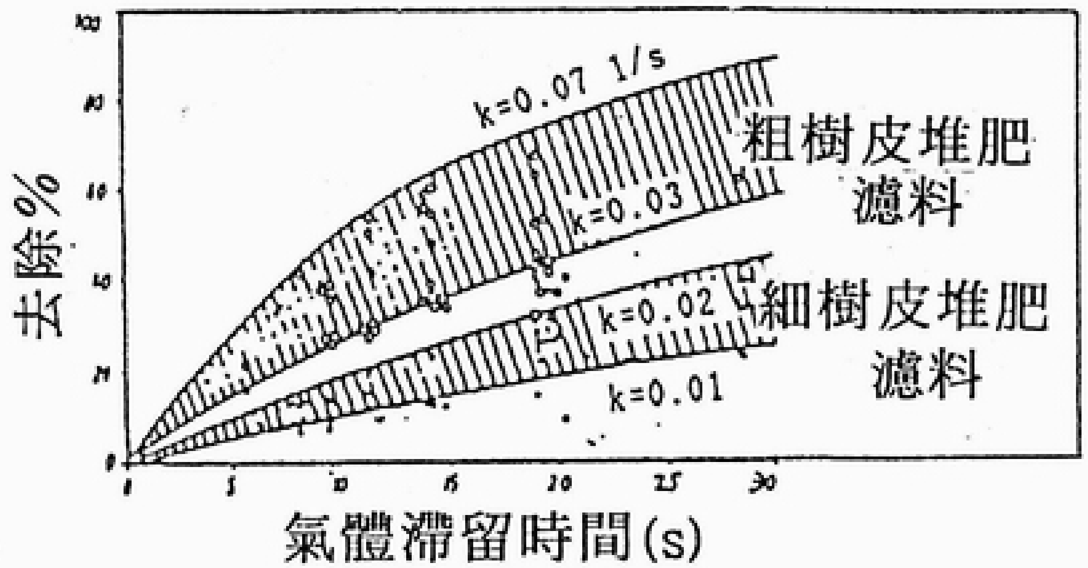


貨櫃式生物濾床示意

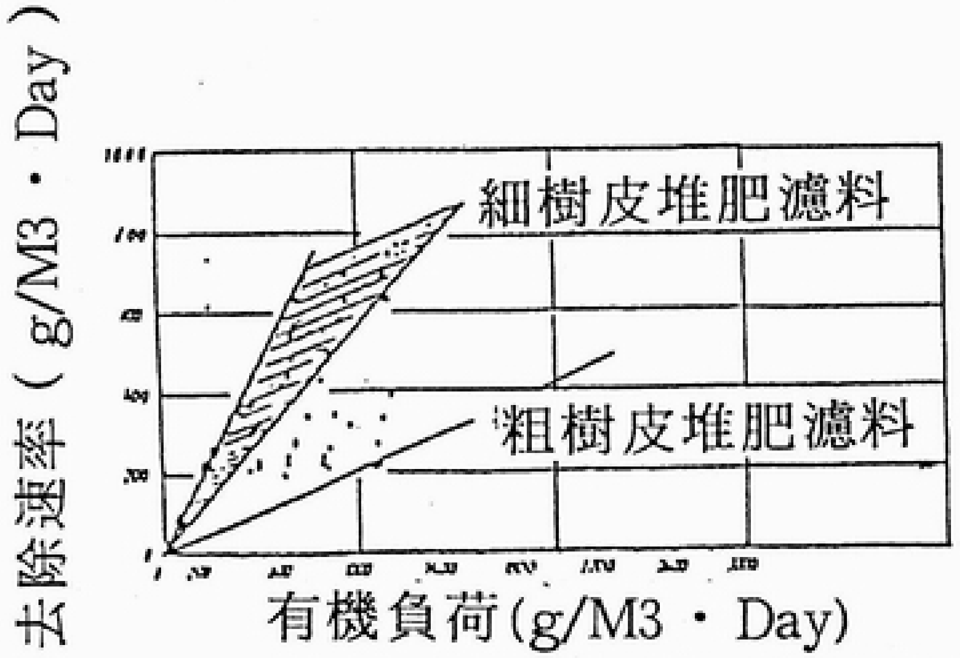
圖五. 生物濾床法之設計模式



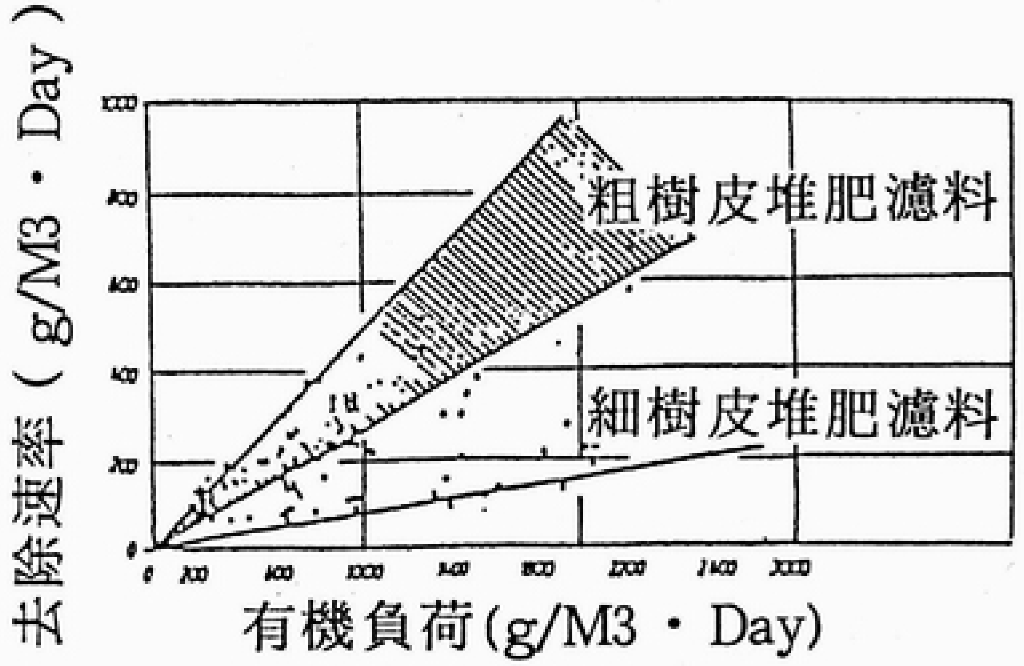
圖四 a　丁醇去除率與氣體滯留時間之關係
細樹皮堆肥濾料：0.1<k<0.3 1/s，粗樹皮堆肥濾料：0.02<k<0.05 1/s



圖四 c　二甲苯去除率與氣體滯留時間之關係
細樹皮堆肥濾料：0.01<k<0.02 1/s，粗樹皮堆肥濾料：0.03<k<0.07



圖四 b　丁醇去除速率與堆肥有機負荷之關係



圖四 d　二甲苯去除速率與堆肥有機負荷之關係

圖四　樹皮堆肥濾床對丁醇及二甲苯之去除率